

**INSTITUTO
FEDERAL**
Ceará

Campus
Fortaleza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Bacharelado em Engenharia da Computação

SISTEMAS LINEARES
TRABALHO DE SIMULAÇÃO

MARCELO DE ARAÚJO

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	3
RESUMO.....	4
DEDICATÓRIA.....	5
METODOLOGIA.....	6
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
1º Questão.....	8
Item a).....	8
Item b).....	12
Item c).....	15
Item d).....	19
2º Questão.....	22
3º Questão.....	26
4º Questão.....	28
DISCUSSÃO.....	30
CONCLUSÃO.....	31
BIBLIOGRAFIA.....	32

INTRODUÇÃO

O presente trabalho, realizado como parte da disciplina de Sistemas Lineares do curso de Engenharia da Computação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), tem como objetivo realizar a simulação e análise de circuitos RLC e filtros.

Na primeira questão, foram empregadas as transformações de Laplace para obter a função de transferência dos circuitos. Essa abordagem permitiu obter a relação entre a tensão de entrada e a tensão de saída dos circuitos em estudo. Além disso, foram utilizados os softwares LTSpice IV para simular as curvas dos circuitos e compará-las com as curvas teóricas obtidas por meio do software Scilab.

Nas questões subsequentes, realizou-se a análise de mais dois circuitos, utilizando-se provavelmente métodos analíticos ou numéricos para determinar suas características e comportamento.

Como desafio final, propôs-se a projeção e simulação de um filtro ativo do tipo passa-alta de 3ª ordem. O objetivo principal era projetar o filtro de forma que sua frequência de corte fosse de 100Hz. Para isso, provavelmente foram empregadas técnicas de projeto de filtros e a análise das características do circuito.

Essa abordagem técnico-científica permitiu explorar os conceitos de circuitos RLC, filtros e análise de sistemas lineares. A combinação de métodos teóricos, simulações computacionais e ferramentas de software proporcionou uma compreensão mais aprofundada dos circuitos estudados e sua aplicação na Engenharia da Computação.

RESUMO

Análise da Resposta ao Impulso e ao Degrau de Circuitos na 1ª Questão:

Para cada circuito fornecido, utilizou-se um software de simulação de circuitos elétricos/eletrônicos para calcular a resposta ao impulso e ao degrau. Os resultados obtidos fornecem informações sobre como o circuito responde a um impulso de entrada ou a uma entrada degrau, respectivamente. A resposta ao impulso mostra a saída do circuito quando é aplicado um impulso unitário como entrada. Ela revela as características transitórias e a resposta em frequência do circuito. A resposta ao degrau, por sua vez, mostra a saída do circuito quando é aplicado um degrau unitário como entrada. Ela fornece informações sobre o comportamento do circuito em regime permanente.

Análise do Circuito e Cálculo da Resposta em Frequência (Ganho e Fase) na 2ª Questão:

Para o circuito dado, realizou-se uma análise para calcular sua resposta em frequência, que inclui o ganho e a fase. O ganho em frequência representa a relação entre a magnitude da saída e da entrada do circuito em função da frequência. A fase em frequência indica o deslocamento temporal entre a saída e a entrada do circuito em diferentes frequências. Essas informações fornecem uma compreensão abrangente do comportamento do circuito em relação à amplitude e ao deslocamento temporal em diferentes frequências.

Análise e Identificação do Filtro na 3ª Questão:

No caso do circuito fornecido, realizou-se uma análise para determinar sua resposta em frequência e identificar o tipo de filtro presente. A resposta em frequência do circuito revela como ele atenua ou amplifica diferentes frequências de entrada. Com base nas características da resposta em frequência, pode-se identificar se o filtro é um passa-baixa, passa-alta, passa-banda ou rejeita-faixa. Estipulou-se uma faixa de frequência adequada para exibir a resposta em frequência, visando destacar o comportamento do filtro em relação às frequências específicas.

Projeto e Simulação de um Filtro Ativo Passa-Alta de 3ª Ordem na 4ª Questão:

Foi realizado o projeto de um filtro ativo do tipo passa-alta de terceira ordem, com o objetivo de estabelecer uma frequência de corte em torno de 100 Hz. Utilizou-se técnicas de projeto de filtros e simulações para garantir que o filtro atendesse aos requisitos desejados. Os resultados obtidos na forma de gráficos mostram a resposta em frequência do filtro projetado, incluindo o ganho e a

fase em função da frequência. Esses gráficos permitem avaliar o desempenho do filtro, verificar se a frequência de corte está de acordo com o esperado e analisar seu comportamento em relação a diferentes frequências.

DEDICATÓRIA

Gostaria de expressar minha sincera gratidão aos meus amigos, familiares e ao professor Aquino. Sem o apoio e encorajamento de vocês, essa jornada acadêmica não teria sido a mesma. Aos amigos, obrigado por estarem ao meu lado durante todos os desafios, compartilhando risadas, estudos e momentos inesquecíveis. Vocês são a minha força e inspiração constantes. Aos familiares, agradeço pelo amor incondicional, paciência e apoio inabalável. Seus encorajamentos e palavras de sabedoria serviu como inspiração para perseguir meus sonhos e alcançar o sucesso acadêmico. Ao professor Aquino, sou imensamente grato por compartilhar seu conhecimento, orientação e mentoria ao longo desta jornada acadêmica. Suas aulas inspiradoras e dedicação em transmitir o saber foram fundamentais para o meu crescimento intelectual e desenvolvimento como profissional. Agradeço a todos vocês pela fé depositada, pelo apoio durante os momentos desafiadores e por celebrar minhas conquistas. Sou extremamente abençoado por ter pessoas tão especiais em minha vida. Este sucesso é dedicado a vocês, meus amigos, familiares e ao professor Aquino, pois sem a presença de cada um de vocês, nada disso seria possível. Obrigado por serem parte essencial da minha jornada acadêmica e pela motivação para alcançar os meus objetivos.

Com profunda gratidão,

Marcelo de Araújo

METODOLOGIA

A metodologia adotada para realizar a análise dos circuitos e projetar o filtro ativo de passa-alta de terceira ordem envolveu os seguintes passos:

Identificação dos circuitos: Os circuitos fornecidos foram analisados e identificados em termos de sua configuração e componentes envolvidos. Isso permitiu compreender a estrutura dos circuitos e suas características específicas. **Seleção do software de simulação:** Um software de simulação de circuitos elétricos/eletrônicos foi selecionado para realizar as simulações necessárias. Existem várias opções disponíveis, como LTSpice, Multisim, PSpice, entre outros, que oferecem recursos de simulação precisos e confiáveis. **Configuração dos circuitos no software de simulação:** Os circuitos foram construídos no software de simulação, utilizando os elementos e parâmetros correspondentes aos circuitos reais. Isso incluiu a definição dos valores dos componentes, como resistores, capacitores e indutores, de acordo com as especificações fornecidas. **Simulação da resposta ao impulso e ao degrau:** Os circuitos foram submetidos a uma simulação da resposta ao impulso e ao degrau. Isso envolveu a aplicação de um impulso unitário e um degrau unitário como entradas, respectivamente. Os resultados foram registrados e analisados. **Cálculo da resposta em frequência:** Para o circuito a ser analisado em termos de resposta em frequência, realizou-se o cálculo da resposta em frequência, incluindo o ganho e a fase em função da frequência. Isso pode ser feito através da análise teórica do circuito ou por meio de simulações no software, aplicando uma variação de frequência à entrada. **Identificação do tipo de filtro:** Com base nos resultados da resposta em frequência, identificou-se o tipo de filtro presente no circuito. Pode ser um filtro passa-baixa, passa-alta, passa-banda ou rejeita-faixa, dependendo das características do ganho e da fase em diferentes frequências. **Estipulação da faixa de frequência adequada:** Determinou-se uma faixa de frequência adequada para exibir a resposta em frequência do circuito. Essa faixa deve abranger as frequências de interesse e realçar o comportamento do filtro. **Projeto e simulação do filtro ativo passa-alta de terceira ordem:** Utilizou-se técnicas de projeto de filtros para projetar um filtro ativo passa-alta de terceira ordem com uma frequência de corte em torno de 100 Hz. Os componentes do filtro foram dimensionados de acordo com as especificações do projeto. Em seguida, realizou-se a simulação do filtro para verificar sua resposta em frequência e garantir que atenda aos requisitos desejados. **Apresentação dos resultados:** Os resultados obtidos, incluindo as respostas ao impulso e ao degrau, a resposta em frequência (ganho e fase) e a simulação do filtro ativo passa-alta de terceira ordem, foram apresentados na forma de gráficos claros e informativos. Essa metodologia permitiu uma análise sistemática dos circuitos, a obtenção de informações detalhadas sobre as questões.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A resposta ao impulso, resposta ao degrau e resposta em frequência são conceitos fundamentais no estudo de circuitos e sistemas lineares. Eles fornecem informações essenciais sobre o comportamento e as características desses circuitos. O cálculo da resposta ao impulso e ao degrau de um circuito pode ser realizado por meio de técnicas de análise de circuitos, como as leis de Kirchhoff e as transformadas de Laplace. No entanto, para obter resultados mais precisos e eficientes, é comum utilizar software de simulação de circuitos elétricos/eletrônicos. A resposta ao impulso de um circuito é a sua saída quando um impulso unitário é aplicado na entrada. O impulso unitário é uma função que possui uma amplitude infinita e uma duração infinitesimal. A resposta ao impulso é obtida pela convolução da função de entrada com a função de transferência do circuito. Ela descreve como o circuito responde a uma mudança instantânea na entrada e fornece informações sobre a resposta transiente e a resposta em regime permanente do circuito. A resposta ao degrau de um circuito é a sua saída quando um degrau unitário é aplicado na entrada. O degrau unitário é uma função que muda abruptamente de zero para um em um determinado instante. A resposta ao degrau revela como o circuito se estabiliza após uma mudança na entrada e fornece informações sobre o tempo de estabilização, a presença de oscilações transitórias e a resposta em regime permanente do circuito. A resposta em frequência de um circuito é uma representação do seu comportamento em função da frequência da entrada. Ela descreve como o circuito atenua ou amplifica diferentes componentes de frequência da entrada. A resposta em frequência é geralmente expressa em termos de ganho e fase. O ganho é a razão entre a amplitude da saída e a amplitude da entrada em uma determinada frequência, enquanto a fase é o deslocamento temporal entre a saída e a entrada em uma determinada frequência.

Existem diferentes tipos de filtros que podem ser projetados em circuitos para realizar a filtragem de sinais. Alguns dos tipos mais comuns de filtros incluem:

Filtros passa-baixa: Permitem a passagem de frequências mais baixas e atenuar frequências mais altas. **Filtros passa-alta:** Permitem a passagem de frequências mais altas e atenuar frequências mais baixas. **Filtros passa-faixa:** Permitem a passagem de um intervalo específico de frequências e atenuam as frequências fora desse intervalo. **Filtros rejeita-faixa:** Atenuam um intervalo específico de frequências e permitem a passagem das frequências fora desse intervalo.

A faixa de frequência adequada para mostrar a resposta em frequência de um circuito depende do tipo de filtro e dos requisitos específicos do sistema. É importante escolher uma faixa que engloba as frequências de interesse e destaque as características desejadas do filtro.

1ª – Questão

A resposta ao impulso de um sistema é uma função que descreve a saída do sistema quando um impulso infinitesimal é aplicado à entrada. De acordo com Oppenheim e Schafer (2010), a resposta ao impulso é calculada convoluindo o sinal de entrada com a função de transferência do sistema. A função de transferência de um circuito é uma representação matemática que relaciona a entrada e a saída do sistema. Segundo Nilsson e Riedel (2010), a função de transferência pode ser obtida por meio da transformada de Laplace das equações que descrevem o circuito. A resposta ao degrau de um sistema é uma medida da variação da saída quando um sinal de entrada degrau é aplicado. De acordo com Sedra e Smith (2016), a resposta ao degrau é obtida pela integração da resposta ao impulso do sistema. Existem vários softwares disponíveis para a simulação de circuitos elétricos/eletrônicos, tais como SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) e LTSpice. Esses softwares permitem modelar circuitos complexos, definir parâmetros, simular a resposta ao impulso e ao degrau e visualizar os resultados. Por exemplo, de acordo com Geiger et al. (2017), o software LTSpice é amplamente utilizado na simulação de circuitos eletrônicos, sendo capaz de calcular e exibir a resposta ao impulso e ao degrau de um circuito.

Os valores dos componentes utilizados são dados como sendo:

Resistor: $R = 2\Omega$

Capacitor: $C = 0.5F$

Indutor: $L = 1H$

É importante ressaltar que as curvas teóricas diferem das simuladas principalmente pelo motivo do LTSpice levar em consideração as características físicas dos componentes do circuito, estas, no entanto, não estão na análise teórica.

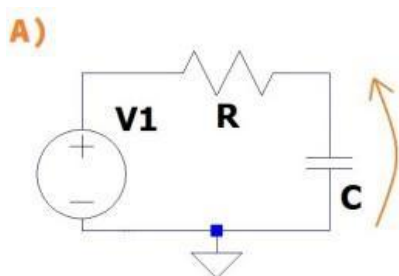
Foram utilizadas as seguintes configurações para as entradas e transitório simulado do LTSpice:

Transitório: `.tran 0 15s 0 0.0001 startup`

Entrada impulso: `PULSE(0 10k 0.1 1ns 1ns 100u 1000 1)`

Entrada degrau unitário: `PULSE (0 1 0.1 1ns 1ns 15s 1000 1)`

As curvas teóricas também possuem um atraso de 0,1 segundo incluso e assume-se que nenhum dos circuitos possui carga inicial.



Temos como solução analítica do circuito:

$$\left(D + \frac{1}{RC}\right) i(t) = \frac{D}{2} X(t)$$

Onde $i(t)$ é a corrente do circuito e $x(t)$ é a tensão de entrada. Aplicando Laplace e substituindo os valores dos componentes obtemos:

$$I(s) \left(s + \frac{1}{s}\right) = \frac{s}{2}$$

$$H(s) = \frac{s}{2(s + 1)}$$

$$Vo(s) = H(s) \cdot \frac{1}{sC} \cdot X(s)$$

Calculando para uma entrada impulsiva temos:

$$Vo(s) = \frac{s}{2(s+1)} \cdot 1 \rightarrow Vo(s) \frac{1}{s+1}$$

$$Vo(t) = e^{-t}$$

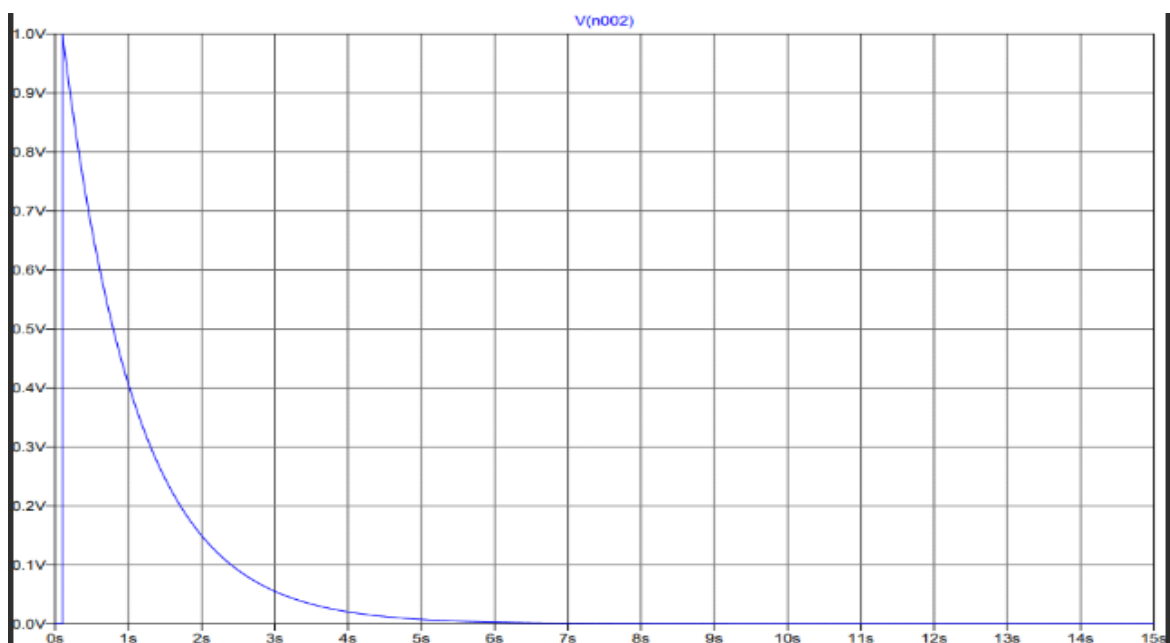
Enquanto para uma entrada degrau unitário:

$$Vo(s) = \frac{s}{2(s+1)} \cdot \frac{2}{s} \cdot \frac{1}{s} \Rightarrow Vo(s) = \frac{1}{2(s+1)}$$

$$Vo(t) = u(t) - e^{-t}$$

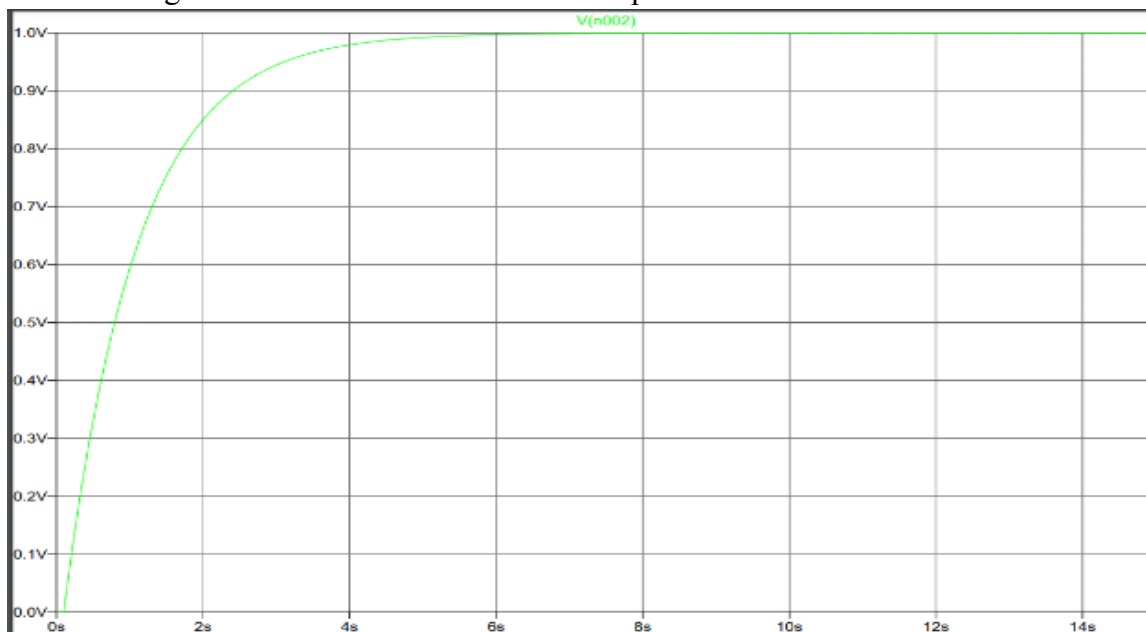
Análise Gráfica

Simulada: Impulso curva de tensão x Tempo



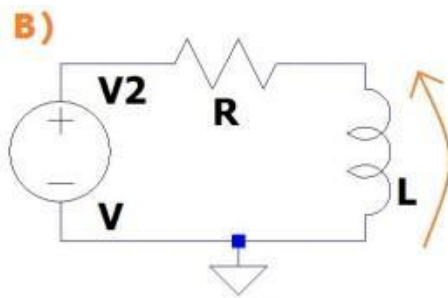
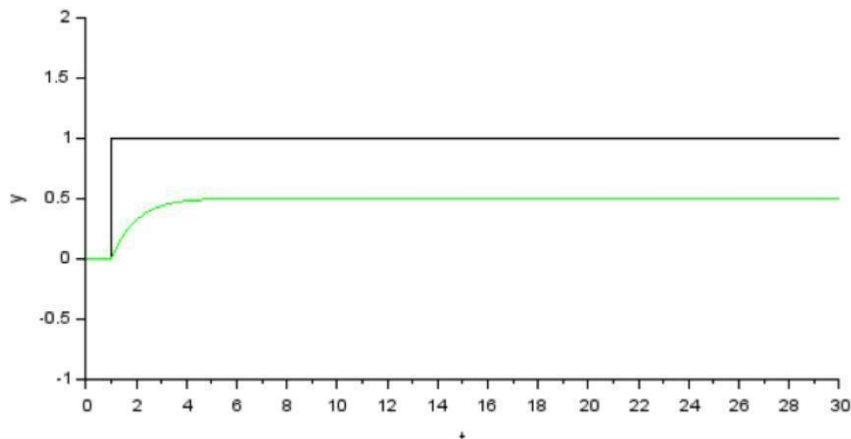
Para uma entrada impulsiva, a tensão ascende a um pico de 1V então decresce até estabilizar em zero em $t \gg 0$.

Simulada: Degrau Unitário curva de tensão x Tempo



Enquanto para uma entrada degrau unitário, a tensão cresce de forma exponencial, e estabiliza em 1V quando $t \gg 0$.

Gráfico teórico das curvas teóricas: Impulso e Degrau (verde)



Temos como solução analítica do circuito:

$$(LD + R)i(t) = x(t)$$

Onde $i(t)$ é a corrente do circuito e $x(t)$ é a tensão de entrada. Aplicando Laplace e substituindo os valores dos componentes obtemos:

$$(s + 2)I(s) = X(s)$$

$$H(s) = \frac{1}{s + 2}$$

$$Vo(s) = H(s) \cdot sL \cdot X(s)$$

Calculando para uma entrada impulsiva temos:

$$Vo(s) = \frac{s}{s+2}$$

$$Vo(t) = \delta(t) - 2e^{-2t}$$

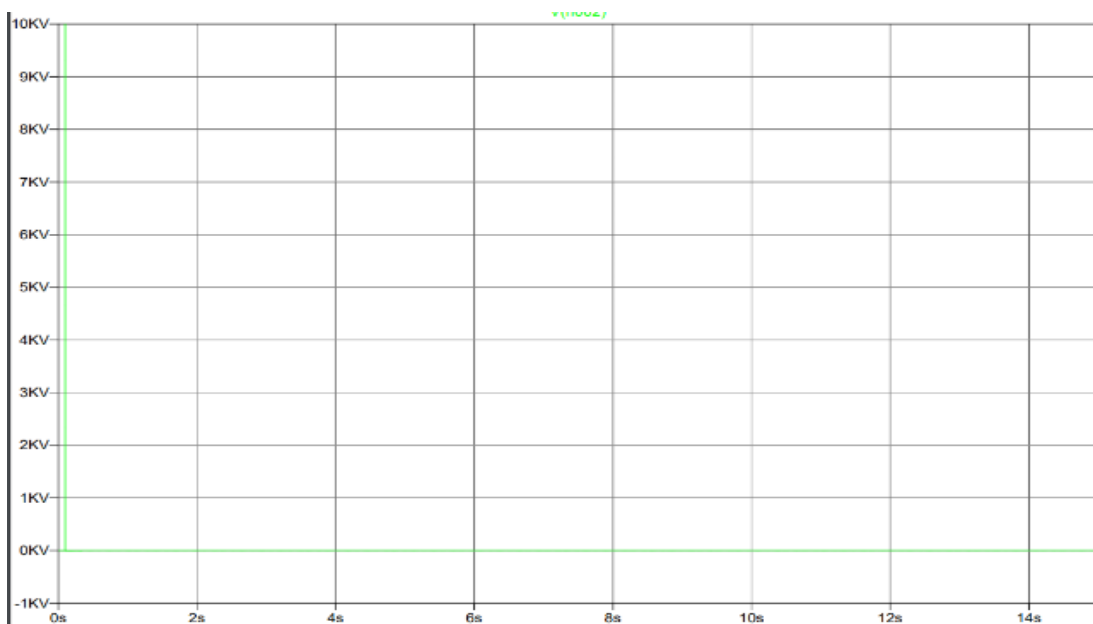
Enquanto para uma entrada degrau unitário:

$$Vo(s) = \frac{1}{s+2}$$

$$Vo(t) = e^{-2t}$$

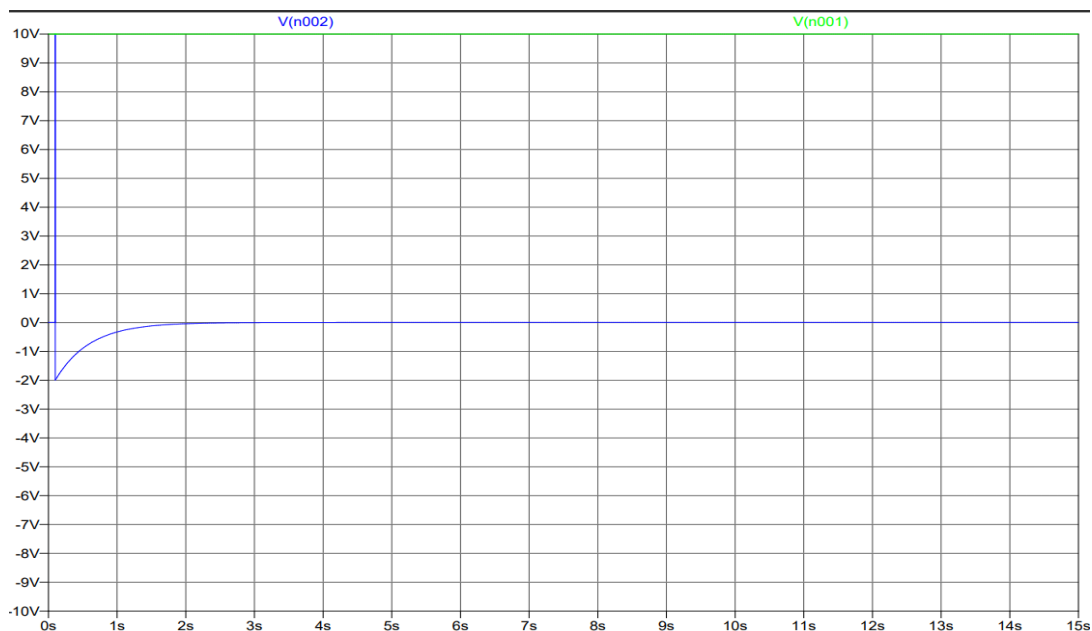
Análise Gráfica

Simulada: Impulso curva de tensão x Tempo

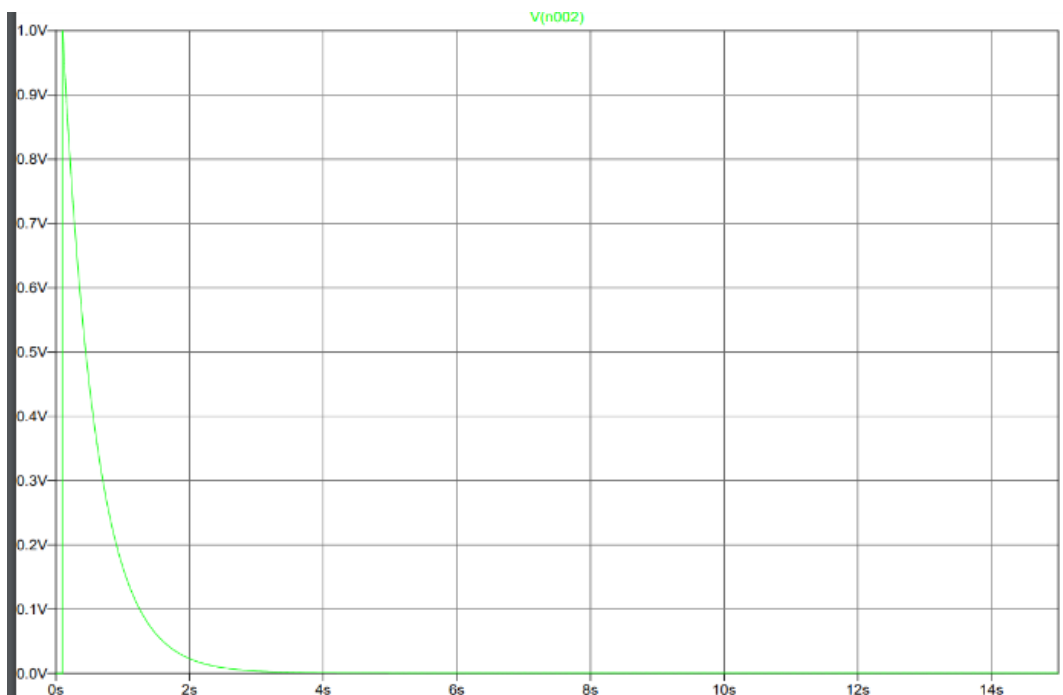


A tensão é igual ao impulso no instante $t = 0$, o gráfico não deixa claro (devido a escala) no entanto a tensão no momento $t = 0$ é igual a $-2V$ e cresce até 0 conforme t tende ao infinito.

Gráfico: Comportamento da tensão em escala reduzida em relação ao impulso.

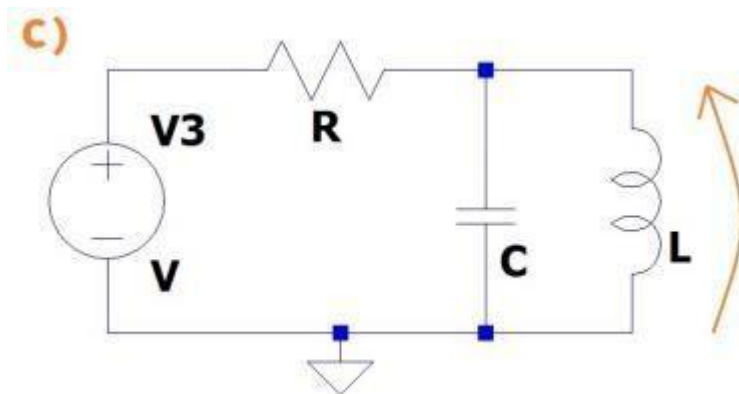
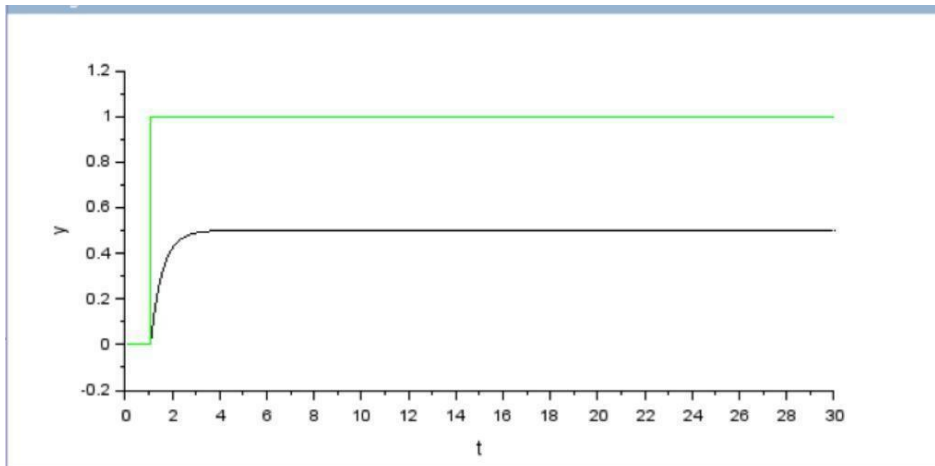


Simulada: Degrau Unitário curva de tensão x Tempo



Para uma entrada degrau unitário a tensão é igual a 1 em $t = 0$ e decresce tendendo a 0 conforme t tende ao infinito.

Gráfico teórico das curvas teóricas: Impulso (verde) e Degrau



Temos como solução analítica do circuito:

$$\left(D^2 + \frac{1}{RC}D + \frac{1}{LC}\right)i(t) = \frac{1}{RC}Dx(t)$$

Onde $i(t)$ é a corrente do circuito e $x(t)$ é a tensão de entrada. Aplicando Laplace e substituindo os valores dos componentes obtemos:

$$(s^2 + s + 2)I(s) = sX(s)$$

$$H(s) = \frac{s}{s^2 + s + 2}$$

$$Vo(s) = H(s) \cdot X(s)$$

Calculando para uma entrada impulsiva temos:

$$Vo(s) = \frac{s}{s^2 + s + 2} \cdot 1$$

$$Vo(t) = -\frac{e^{-\frac{t}{2}} \operatorname{sen}\left(\frac{\sqrt{7}t}{2}\right)}{\sqrt{7}} + e^{-\frac{t}{2}} \cos\left(\frac{\sqrt{7}t}{2}\right)$$

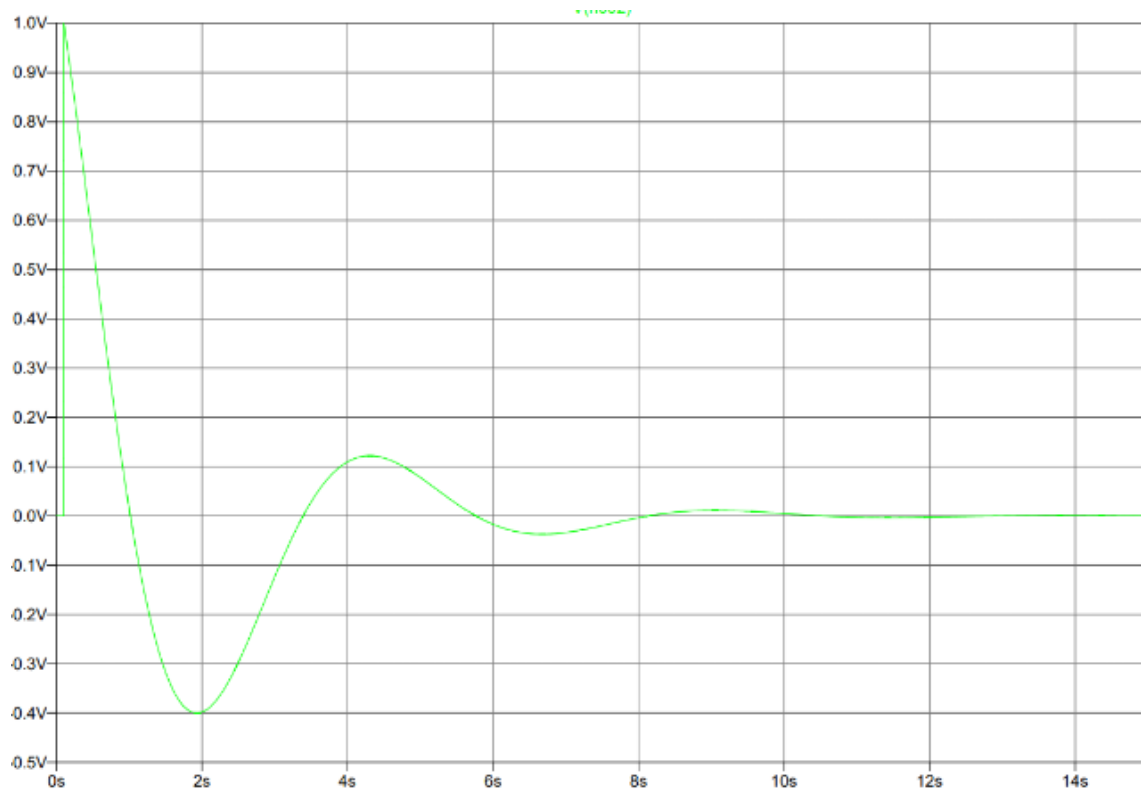
Enquanto para uma entrada degrau unitário:

$$Vo(s) = \frac{s}{s^2 + s + 2} \cdot \frac{1}{s}$$

$$Vo(t) = e^{-\frac{t}{2}} \cdot \frac{2}{\sqrt{7}} \operatorname{sen}\left(\frac{\sqrt{7}}{2}t\right)$$

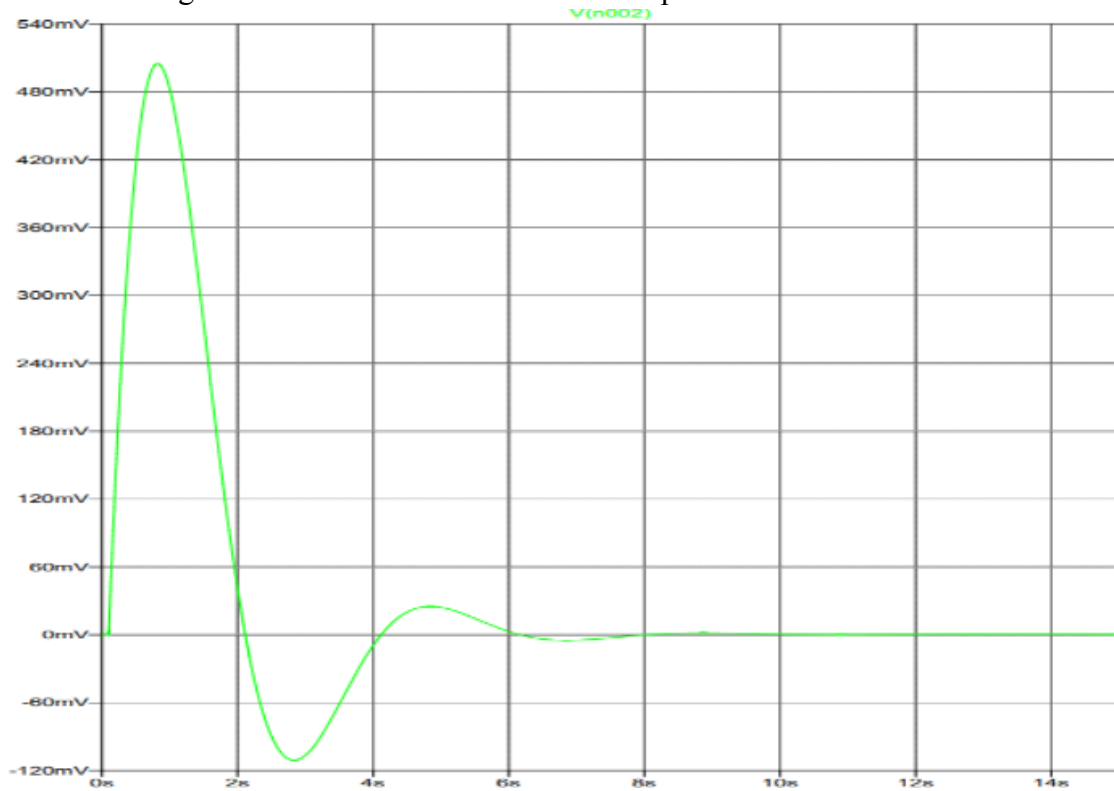
Análise Gráfica

Simulada: Impulso curva de tensão x Tempo



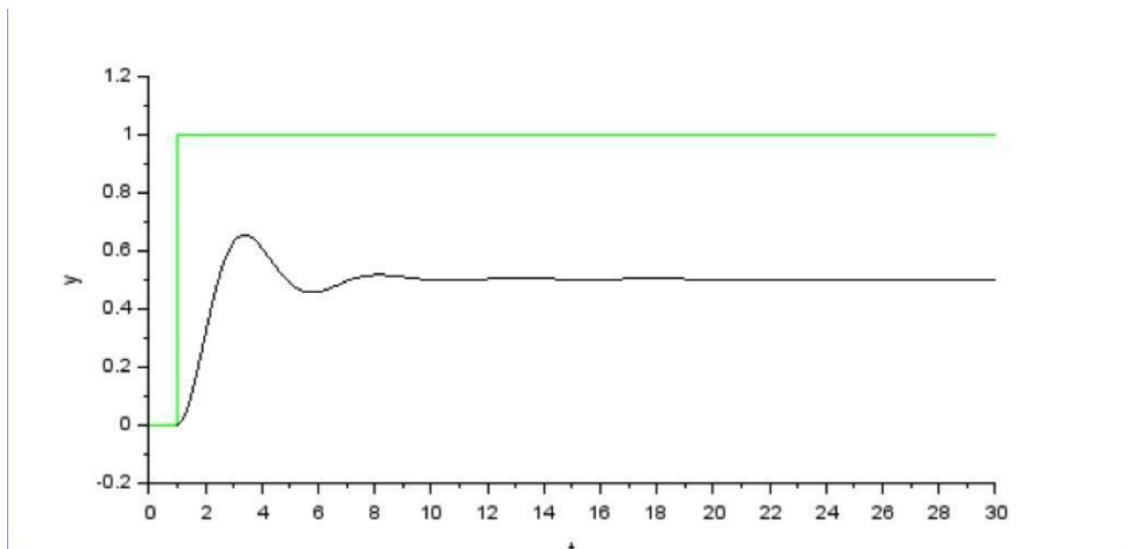
Para uma entrada impulsiva, a tensão ascende a um pico de 1V então oscila até estabilizar em zero em $t \gg 0$.

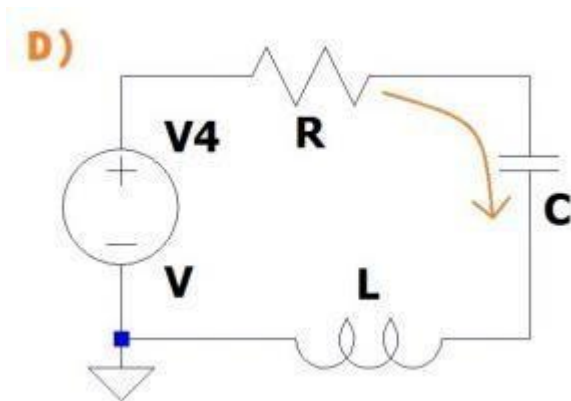
Simulada: Degrau Unitário curva de Tensão X Tempo



Enquanto para uma entrada degrau unitário, a tensão oscila inicialmente, mas perde energia devido o fator exponencial de sua função e tende a zero quando $t \gg 0$.

Gráfico teórico das curvas teóricas: Impulso (verde) e Degrau





Temos como solução analítica do circuito:

$$\left(D^2 + \frac{R}{L}D + \frac{1}{LC}\right)i(t) = \frac{V}{LC}x(t)$$

Onde $i(t)$ é a corrente do circuito e $x(t)$ é a tensão de entrada. Aplicando Laplace e substituindo os valores dos componentes obtemos:

$$s^2 + 2s + 2 = \frac{X(t)}{2}$$

$$H(s) = \frac{1}{2(s^2 + 2s + 2)}$$

$$Vo(s) = H(s) \cdot X(s)$$

Calculando para uma entrada impulsiva temos:

$$Vo(s) = \frac{1}{2(s^2 + 2s + 2)} \cdot 1$$

$$Vo(t) = \frac{1}{2}e^{-t}\text{sen}(t)$$

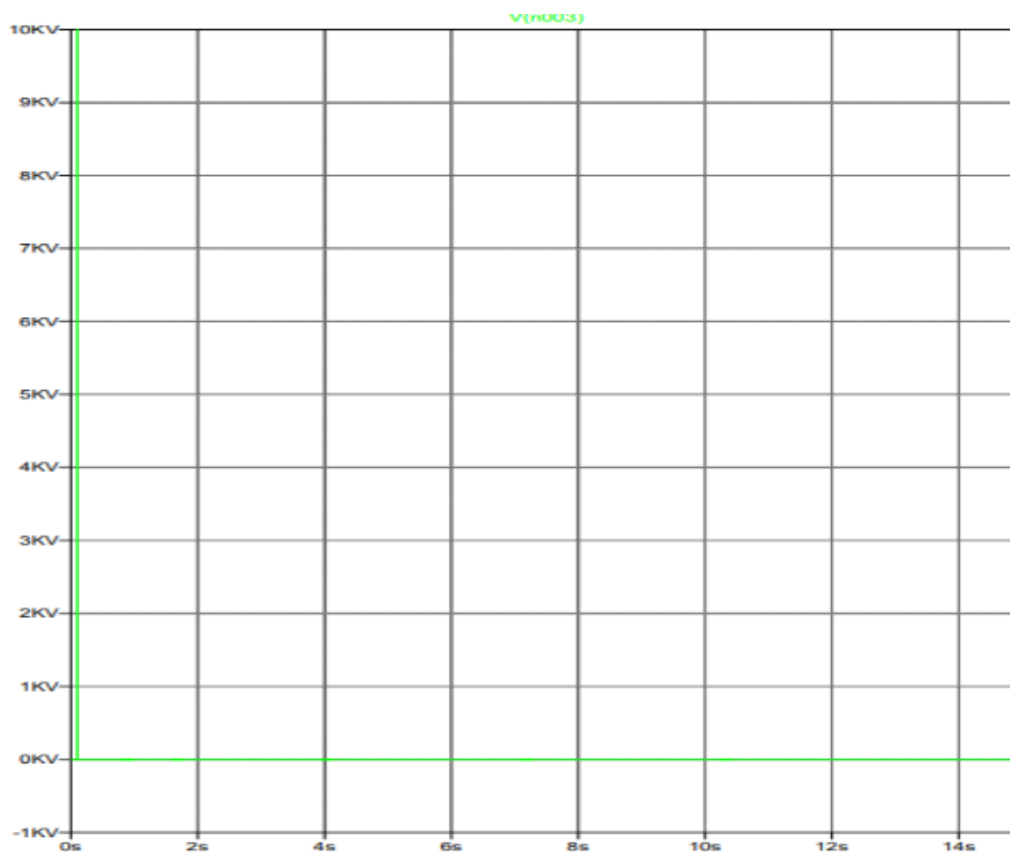
Enquanto para uma entrada degrau unitário:

$$Vo(s) = \frac{1}{2(s^2 + 2s + 2)} \cdot \frac{1}{s}$$

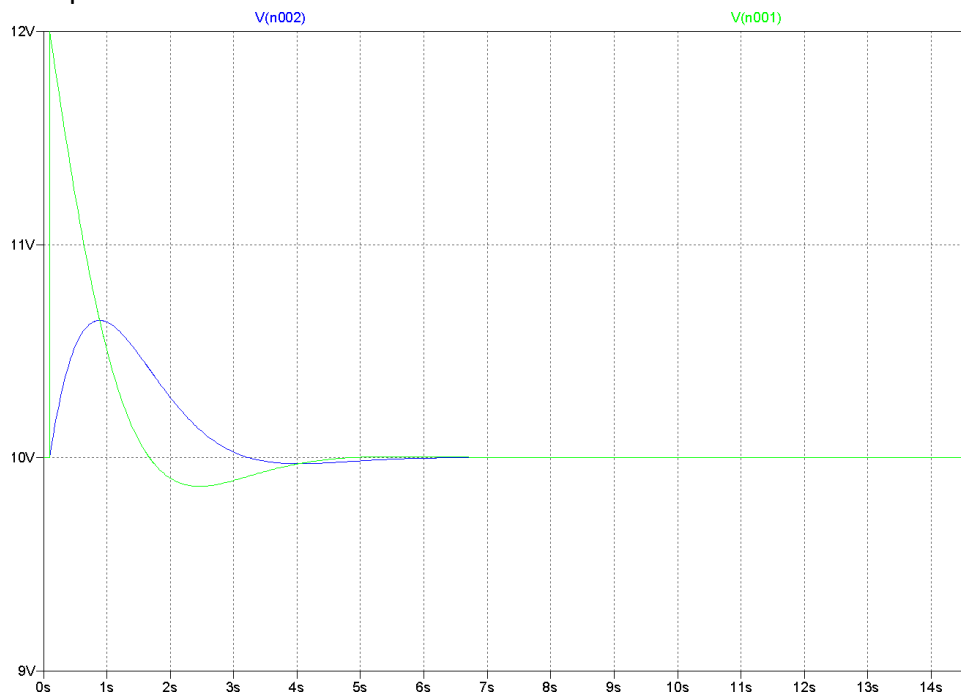
$$Vo(t) = \frac{1}{4} - \frac{1}{4}e^{-t} \cos(t) - \frac{1}{4}e^{-t} \sin(t)$$

Análise Gráfica

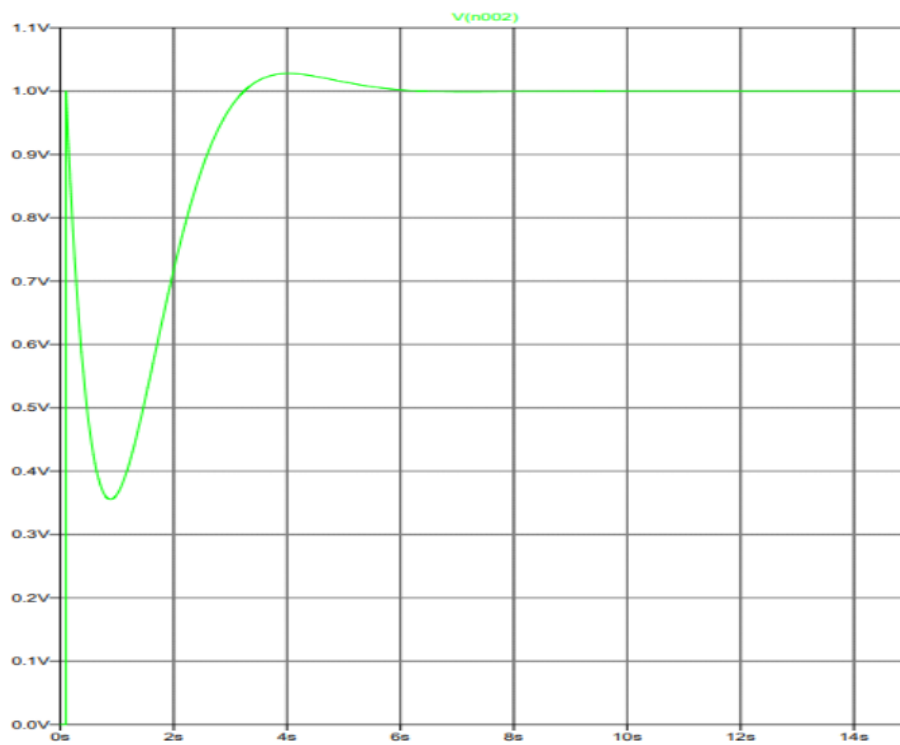
Simulada: Impulso curva de Tensão x Tempo



Em $t = 0^+$, nesse caso, a tensão de saída oscila como um sinal senoidal até estabilizar-se em 10V quando $t \gg 0$.



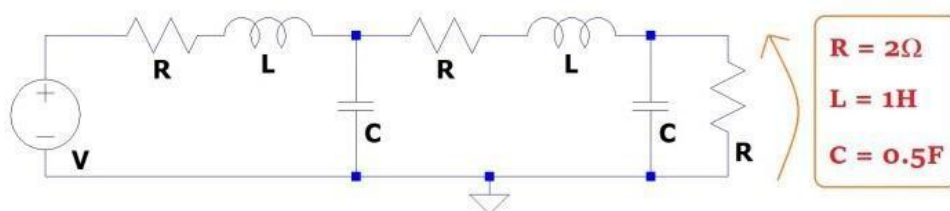
Simulada: Degrau Unitário curva de Tensão x Tempo



Para uma entrada degrau unitário, a tensão de saída é igual a tensão de entrada para $t = 0$, mas rapidamente começa a oscilar em $t = 0^+$ até estabilizar-se em 1 para $t \gg 0$.

2ª – Questão

A resposta ao impulso é uma medida da saída de um sistema quando um impulso unitário é aplicado na entrada. Segundo Oppenheim e Schaffer (2010), a resposta ao impulso pode ser obtida por meio da convolução do sinal de entrada com a função de transferência do sistema. Ela descreve as características do sistema em relação à sua capacidade de resposta a um sinal de impulso. Já a resposta ao degrau é uma medida da variação da saída de um sistema quando um sinal de entrada degrau é aplicado. De acordo com Sedra e Smith (2016), a resposta ao degrau pode ser calculada a partir da integração da resposta ao impulso. Ela revela a capacidade do sistema em lidar com variações abruptas no sinal de entrada. A resposta em frequência é uma característica importante para analisar o comportamento de um sistema em relação a diferentes frequências de entrada. Segundo Oppenheim e Schaffer (2010), a resposta em frequência é uma medida da amplitude e da fase da saída do sistema em função da frequência de entrada. O ganho da resposta em frequência representa a amplificação ou atenuação do sinal de entrada em diferentes frequências. Ele pode ser determinado pela magnitude da resposta em frequência. A fase da resposta em frequência indica o deslocamento temporal entre a saída e a entrada em diferentes frequências. Portanto, a resposta ao impulso e ao degrau descrevem o comportamento do sistema em relação a sinais de impulso e degrau, respectivamente, enquanto a resposta em frequência fornece informações sobre a amplificação, atenuação e deslocamento temporal em diferentes frequências de entrada.



Fazendo análise de malhas no circuito, temos:

Malha 1:

$$R \cdot I_1 + L \cdot \frac{dI_1}{dt} + \frac{1}{C} \int I_1 dt = 0$$
$$(2 + s)I_1 + \frac{2}{s}I_2 = 0$$

Malha 2:

$$R \cdot I_3 + L \cdot \frac{dI_3}{dt} + \frac{1}{C} \int I_3 dt - \frac{1}{C} \int I_1 dt = 0$$

Malha 3:

$$R \cdot I5 - \frac{1}{s(C)} \cdot I4 = 0$$

$$\text{Nó 1: } I1(s) = I2(s) + I3(s)$$

$$\text{Nó 2: } I3(s) = I4(s) + I5(s)$$

Fazendo as devidas substituições dos resultados obtidos dos nós nas malhas obtemos a função transferência para R (resistor mais à direita) dada por:

$$H(s) = \frac{X(s)}{s^4 + 3s^3 + 7s^2 + 5s + 4}$$

$$Vo(s) = H(s) \cdot X(s)$$

Resposta em frequência : $s \rightarrow jw, j^2 = -1$

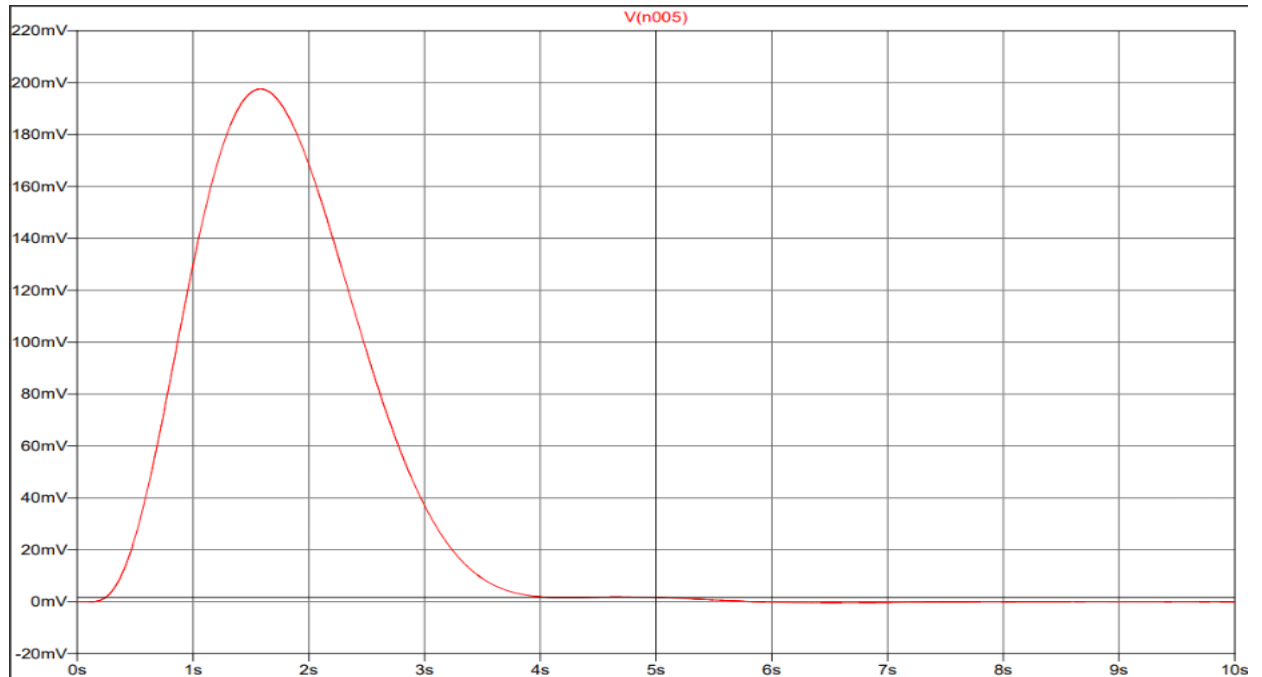
$$H(w) = \frac{1}{jw^4 + 3jw^3 + 7jw^2 + 5jw + 4}$$

$$H(w) = \frac{1}{-6w + 2jw + 4}$$

w	H(w)	Fase
0	0.25	47°
1	0.211....	45°
2	0.11180...	26°
3	0.06565...	23°
4	0.04642...	21.9°
5	0.03589...	21°

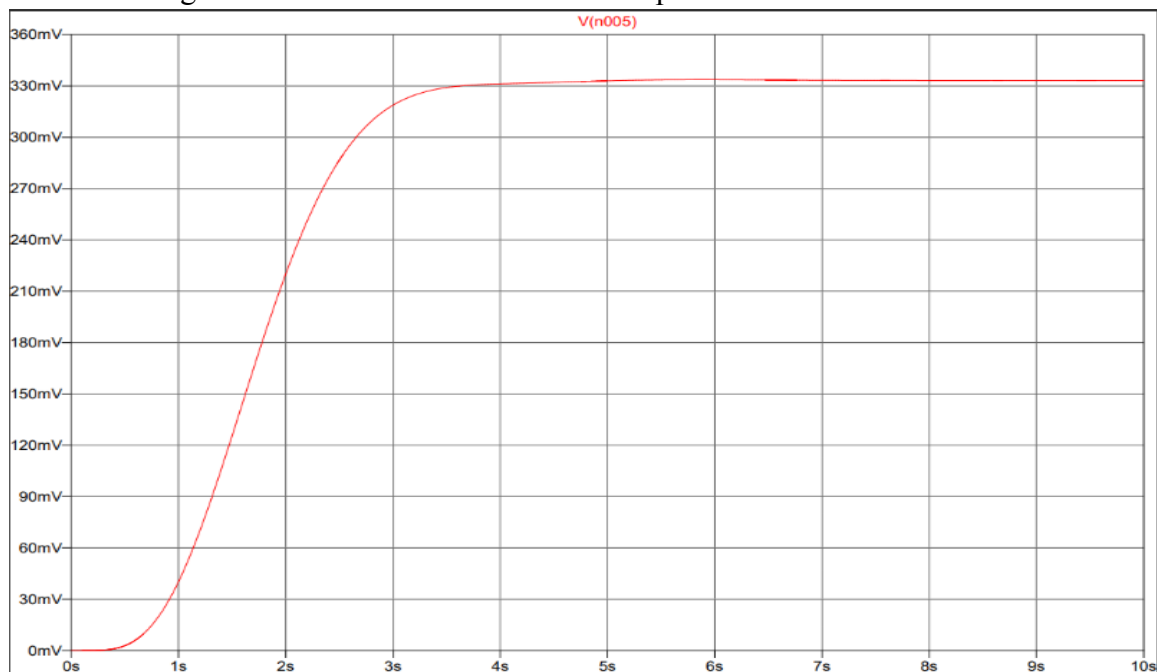
Análise Gráfica

Simulada: Impulso curva de Tensão x Tempo



Para uma entrada impulsiva, podemos perceber que para $t \gg 0$ a tensão estabiliza em 0 e que existe uma pequena oscilação após o pico de energia.

Simulada: Degrau Unitário curva de Tensão x Tempo



Enquanto para uma entrada degrau unitário, a tensão cresce de forma exponencial.

3ª - Questão

Os filtros de sinais desempenham um papel fundamental no processamento e na análise de sinais em diversas áreas, como comunicações, eletrônica e processamento de imagens. Existem diferentes tipos de filtros de sinais, cada um com suas características e aplicações específicas.

O filtro passa-baixa é projetado para permitir a passagem de frequências mais baixas e atenuar as frequências mais altas. Ele é amplamente utilizado para suavizar sinais, eliminar ruídos de alta frequência e preservar os componentes de baixa frequência. Segundo Oppenheim e Schaffer (2010), o filtro passa-baixa é essencial em sistemas de áudio, onde é desejável eliminar ruídos de alta frequência que possam comprometer a qualidade do som.

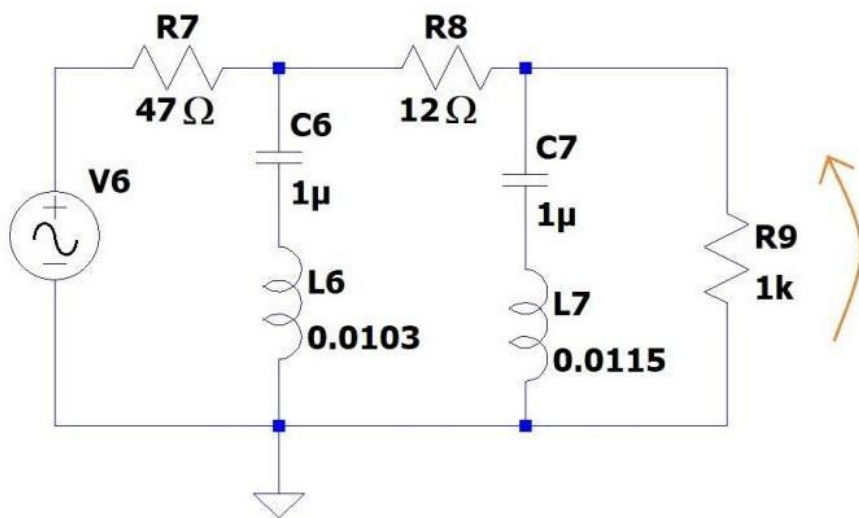
Filtro Passa-Alta:

O filtro passa-alta permite a passagem de frequências mais altas e atenua as frequências mais baixas. Ele é utilizado quando se deseja remover ou atenuar as componentes de baixa frequência de um sinal. De acordo com Lathi (2011), o filtro passa-alta é útil na remoção de ruídos de baixa frequência e na detecção de mudanças rápidas em um sinal.

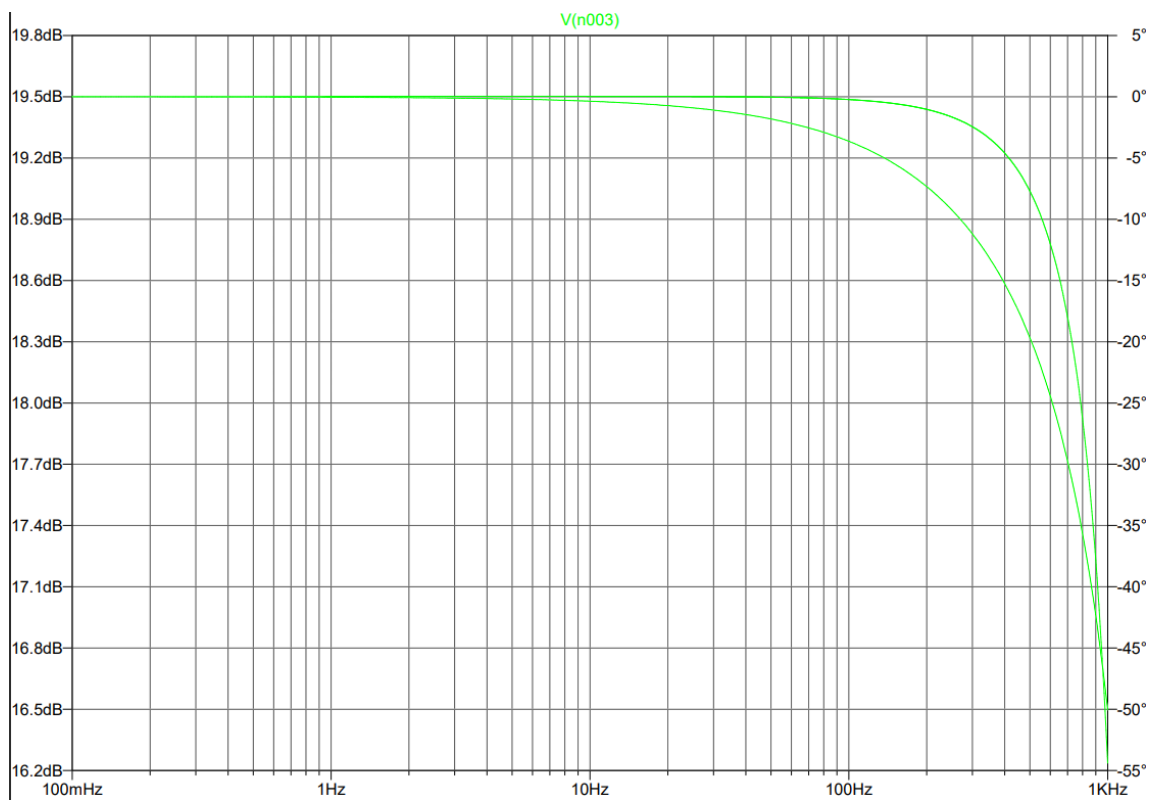
O filtro passa-banda permite a passagem de uma faixa específica de frequências e atenua as frequências fora dessa faixa. Ele é empregado quando é necessário isolar uma faixa de frequências específica de um sinal. Segundo Oppenheim e Schaffer (2010), o filtro passa-banda é amplamente utilizado em aplicações de telecomunicações, como na seleção de canais de transmissão em sistemas de rádio e televisão.

O filtro rejeita-banda, também conhecido como filtro notch, é projetado para atenuar uma faixa específica de frequências e permitir a passagem das frequências fora dessa faixa. Ele é utilizado quando é necessário eliminar ou atenuar componentes de frequência indesejados em um sinal. De acordo com Lathi (2011), o filtro rejeita-banda é comumente empregado para remover interferências causadas por fontes de frequência específicas, como o ruído de linha elétrica.

Cabe ressaltar que esses são apenas alguns exemplos dos tipos mais comuns de filtros de sinais. Existem outras variações e combinações desses filtros que podem ser utilizadas para atender a requisitos específicos de filtragem.

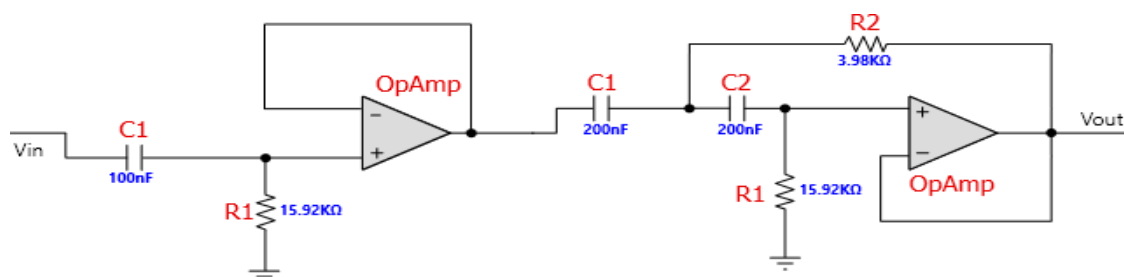


Esse filtro é do tipo passa-baixa de quarta ordem
 Gráfico simulado:



4ª - Questão

A topologia Sallen-Key é uma configuração comum de circuito usada para implementar filtros ativos de segunda ordem, como filtros passa-baixa e passa-alta. Essa topologia é amplamente utilizada devido à sua simplicidade, estabilidade e desempenho adequado em várias aplicações. A topologia Sallen-Key é composta por amplificadores operacionais, resistores e capacitores interconectados de forma específica. Essa configuração permite controlar as características de resposta em frequência do filtro, como a frequência de corte, o ganho e a resposta em fase. De acordo com Sedra e Smith (2016), a topologia Sallen-Key é uma das configurações mais populares para a implementação de filtros ativos de segunda ordem. Essa topologia permite a realização de filtros passa-baixa e passa-alta com características personalizadas de ganho e frequência de corte. Segundo Lathi (2011), a topologia Sallen-Key é conhecida por sua estabilidade e facilidade de projeto. Ela apresenta uma resposta de frequência estável, permitindo o controle preciso das características do filtro. Além disso, a topologia Sallen-Key oferece flexibilidade na escolha dos componentes do circuito, permitindo ajustar o ganho e a frequência de corte de acordo com as especificações desejadas. De acordo com Sedra e Smith (2016), os filtros Sallen-Key são amplamente utilizados em aplicações de áudio, telecomunicações e processamento de sinais.



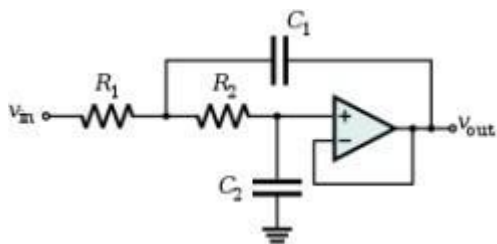
O filtro acima é um filtro ativo do tipo passa-alta de 3ª ordem. topologia Sallen-Key com um ganho K em cascata com um filtro RC passivo de 1º ordem.

Obtemos a função de transferência deste circuito que é dada por:

$$H(s) = HSallen(s) \cdot Hrc(s)$$

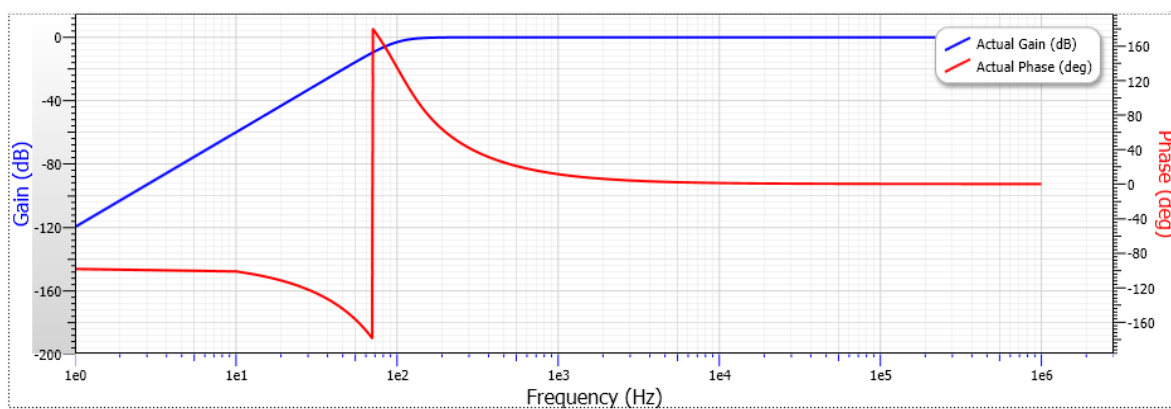
Podemos escrever HSallen(s) como sendo:

$$HSallen(s) = \frac{K}{1 + C2(R1 + R2)s + C1C2R1R2s^2}$$



A imagem acima nos permite mostrar a qual componente nos referimos, lembrando que K representa o ganho do amplificador operacional.

Gráfico do ganho x frequência:



DISCUSSÃO

A discussão do trabalho está baseada no estudo apresentado envolvendo a análise dos principais aspectos abordados no trabalho, a relevância dos resultados obtidos e suas implicações no campo de estudo dos circuitos RC, RLC e filtros. Além disso, seria possível explorar as limitações encontradas durante a realização do trabalho e sugerir possíveis direções para futuras pesquisas. Uma discussão aprofundada poderia abordar a importância da compreensão teórica e da aplicação prática dos circuitos RC, RLC e filtros, ressaltando como esses conceitos são fundamentais na área da eletrônica e engenharia elétrica. Seria interessante explorar como a combinação de conhecimentos teóricos e habilidades práticas na análise e projeto desses circuitos é crucial para o desenvolvimento de soluções eficientes e confiáveis em diversas aplicações. Poderíamos destacar os desafios enfrentados durante a realização do trabalho, como as dificuldades na resolução dos cálculos e as limitações na obtenção de resultados completos. Isso evidenciaria a complexidade dos circuitos estudados e a importância de uma abordagem rigorosa e detalhada para uma análise precisa. Além disso, seria relevante discutir como a realização de simulações computacionais permitiu uma validação prática dos resultados teóricos, demonstrando a importância da integração entre teoria e prática na compreensão e análise de circuitos. Por fim, podemos propor áreas de pesquisa adicionais ou possíveis extensões do trabalho, sugerindo tópicos que poderiam ser explorados para aprofundar ainda mais o conhecimento sobre circuitos RC, RLC e filtros. Isso incentivaria o avanço contínuo no campo, estimulando outros pesquisadores a investigar questões relacionadas a esses circuitos e aprimorar as técnicas de análise e projeto. Em suma, a discussão do trabalho está baseada na conclusão fornecida, envolveria uma análise crítica e reflexiva dos principais aspectos do trabalho, enfatizando sua relevância, limitações e possíveis direções futuras para a pesquisa nessa área específica.

CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu a compreensão teórica e a aplicação prática dos conceitos relacionados a circuitos RC, RLC e filtros, bem como a compreensão da projeção de filtros. Enfrentamos desafios significativos ao lidar com os circuitos apresentados nas questões dois e três, nos quais as aplicações das leis de Kirchhoff das correntes e tensões e de Ohm, o teorema de Norton e o teorema de Thévenin foi essencial para determinarmos a função de transferência e possibilitar uma análise mais aprofundada dos circuitos.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, aprofundamos nosso conhecimento sobre as características e propriedades desses circuitos, especialmente no que se refere à resposta em frequência e à influência dos componentes (resistores, capacitores e indutores) na resposta do sistema. A análise teórica foi complementada pela realização de simulações computacionais, que permitiram uma validação prática dos resultados obtidos.

Apesar de ter enfrentado desafios significativos, especialmente na terceira questão, onde dificuldades adicionais impediram a conclusão completa dos cálculos necessários, o trabalho foi capaz de consolidar e aplicar nossos conhecimentos em relação aos circuitos estudados. A utilização das leis já mencionadas proporcionou uma abordagem rigorosa para o estudo desses circuitos, permitindo uma análise detalhada e uma compreensão mais profunda dos fenômenos envolvidos.

Em suma, este trabalho proporcionou uma oportunidade valiosa para aprofundar a nossa compreensão sobre circuitos RC, RLC e filtros, e a aplicação dos conceitos teóricos adquiridos na disciplina de sistemas lineares em uma abordagem prática.

BIBLIOGRAFIA

- SMITH, STEPHEN W. "13.Convolution". The Scientist and Engineer's Guide to Digital
- Oppenheim, A. V., Willsky, A. S., & Hamid, S. (1996). Signals and Systems (2nd ed.). Prentice Hall.
- Haykin, S., & Van Veen, B. (2002). Signals and Systems (2nd ed.). Wiley.
- Lathi, B. P. (2009). Linear Systems and Signals (2nd ed.). Oxford University Press.
- Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (2006). Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications (4th ed.). Prentice Hall.
- Oppenheim, A. V., Schafer, R. W., & Buck, J. R. (2010). Discrete-Time Signal Processing (3rd ed.). Pearson.
- Roberts, M. J., & Sedra, A. S. (2004). Signals and Systems: Analysis Using Transform Methods & MATLAB (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Chen, C. T. (2012). Signals and Systems: A MATLAB Integrated Approach. Oxford University Press.
- S. K. Mitra, "Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach." McGraw-Hill Education, 2010.
- Boyce, W. E., & DiPrima, R. C. (2017). Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno. LTC Editora.
- Coughanowr, D. R., & Koppel, L. B. (2016). Process Systems Analysis and Control. McGraw-Hill Education.